

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
20 juin 2002 (20.06.2002)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 02/48665 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ :
G01K 11/00

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR01/03967

(22) Date de dépôt international :
12 décembre 2001 (12.12.2001)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
00 16350 12 décembre 2000 (12.12.2000) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE [FR/FR]**; Bâtiment A3, Cité Scientifique, F-59655 Villeneuve d'Ascq (FR).

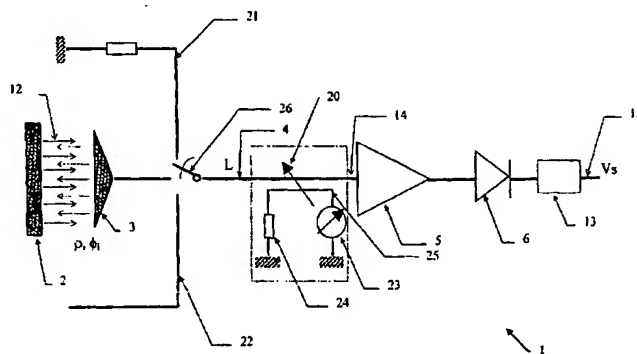
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **CONSTANT, Eugène [FR/FR]**; 39, avenue du Vieux-Château, F-59650 Villeneuve-d'Ascq (FR). **RINGOT, Roger [FR/FR]**; 2 rue des Boulans, F-62840 Neuve-Chapelle (FR). **BOCQUET, Bertrand [FR/FR]**; 25, rue Mangin, F-59493 Villeneuve d'Ascq (FR). **VAN DE VELDE, Jean-Claude [FR/FR]**; Résidence Canon d'Or, 13 rue Oswald Crépi, F-59130 Lambersart (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING TEMPERATURE USING MICROWAVE RADIATION

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF DE MESURE DE LA TEMPERATURE UTILISANT LE RAYONNEMENT MICRO-ONDES



(57) Abstract: The invention concerns a radiometric method for measuring the temperature of an object (2) such as a material or a body for use by manufacturers of radiometric devices and used in medicine, agri-food and industrial sector, which consists in: sensing the microwave radiation of said object (2) via an antenna (3) which has an antenna-unknown material reflection coefficient p ; processing the waves (12) sensed by the antenna with processing means consisting of an amplifier (5) and a detector (6), said amplifier being connected to the antenna by a given characteristic impedance line (4) and transmitting a noise in input which is then reflected by the antenna with an initial shift ϕ_i , producing a correlation effect of the noise which is in the detector output in the form of a correlation voltage of the noise V_{cor} which perturbs the temperature measurement. The invention is characterised in that it consists in: injecting by inductive coupling a constant noise in the given characteristic impedance line (4) which is commuted on the antenna (3) and on at least a reference (22) whereof the reflection coefficient value is known, to determine the value of the antenna-material reflection coefficient p ; modifying the structure of the elements of the radiometer and accurately adjusting the physical and/or dimensional characteristics of said elements to eliminate the component of the correlation noise voltage V_{cor} in the temperature measurement of the material, whatever the initial shift ϕ_i and the value of the antenna-material reflection coefficient p .

(57) Abrégé : L'invention est relative à un procédé de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet (2) tel que matériau ou corps utilisable chez les fabricants de dispositifs de radiométrie et mis en application dans le domaine médical, l'agro-alimentaire et l'industrie, par lequel: - on capte le rayonnement micro-ondes dudit objet (2) par l'intermédiaire d'une

[Suite sur la page suivante]

WO 02/48665 A1



(74) **Mandataire :** DUTHOIT, Michel; Conseil en Propriété Industrielle, 96/98, Boulevard Carnot, B.P. 105, F-59027 Lille Cedex (FR).

IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(81) **États désignés (national) :** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*

(84) **États désignés (régional) :** brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR,

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

antenne (3) qui présente un coefficient de réflexion ρ antenne-matériau inconnu, - on traite les ondes captées (12) par l'antenne avec des moyens de traitement composés d'un amplificateur (5) et d'un détecteur (6), ledit amplificateur étant relié à l'antenne par une ligne d'impédance caractéristique donnée (4) et émettant un bruit à son entrée qui est ensuite réfléchi par l'antenne avec un déphasage initial ϕ_i , produisant un effet de corrélation du bruit qui se retrouve en sortie du détecteur sous la forme d'une tension de corrélation du bruit V_{cor} qui perturbe la mesure de la température, caractérisé par le fait que: - on injecte par couplage directif un bruit constant dans la ligne d'impédance caractéristique donnée (4) que l'on commute sur l'antenne (3) et sur au moins une référence (22) dont on connaît la valeur du coefficient de réflexion, pour la détermination de la valeur du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau, - on modifie la structure des éléments du radiomètre et on règle précisément les caractéristiques physiques et/ou dimensionnelles de ces éléments pour supprimer la composante de la tension de bruit de corrélation V_{cor} dans la mesure de température du matériau, quel que soit le déphasage initial ϕ_i et la valeur du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau.

TITRE : Procédé et dispositif de mesure de la température utilisant le rayonnement micro-ondes.

L'invention est relative à un procédé et à un dispositif de mesure de la température et des propriétés d'un objet utilisant le rayonnement micro-ondes, ainsi qu'à une application du procédé de mesure pour la détermination du coefficient de réflexion hyperfréquences dudit objet.

L'invention trouvera tout particulièrement son application dans les domaines de la médecine, de l'agro-alimentaire et de l'industrie pour mesurer la température d'un matériau ou de tissu vivant du type corps humain, animal et végétal et toute variation de ses propriétés diélectriques, en vue par exemple d'effectuer une cartographie du corps investigué à des fins médicales.

Il est connu de l'état de la technique d'effectuer des mesures de température d'un objet à partir de procédés utilisant des signaux émis par celui-ci dans le domaine des infrarouges. L'inconvénient de ce type de procédé est que les corps à mesurer émettent des ondes provenant de leur surface immédiate et non de la profondeur du matériau. De ce fait, il n'est possible de mesurer la température qu'en surface, ce qui limite l'utilisation de cette technique de mesure.

Un autre mode de mesure de température, qui lui, permet d'effectuer des mesures de température en profondeur de l'objet, consiste à utiliser un thermocouple que l'on introduit directement à l'intérieur du corps dont on souhaite mesurer la température. Ce type de mesure demande donc de pénétrer le thermocouple dans le corps, ce qui est destructeur et donc ne peut être utilisé que dans certains cas.

De ce fait, on préfère utiliser un procédé qui consiste à mesurer les ondes électromagnétiques émises par le corps dans le domaine des hyperfréquences, c'est à dire des fréquences variant approximativement entre 0,5 et 20 Gigahertz. En effet, tout objet porté à une température différente de zéro degré Kelvin (0°K) émet des ondes électromagnétiques dépendant directement de sa température et dont la puissance des ondes électromagnétiques est proportionnelle à la température de celui-ci dans le

domaine des micro-ondes.

Pour mettre en œuvre cet effet, on utilise un dispositif de radiométrie micro-ondes qui permet de capter le rayonnement micro-ondes émis par l'objet. Les ondes électromagnétiques émises par l'objet sont captées
5 \ au moyen d'une antenne et on dirige ensuite les signaux vers des moyens de traitement qui permettent de déterminer la température de l'objet considéré.

Ces moyens de traitement se composent essentiellement d'un amplificateur qui amplifie les signaux captés par l'antenne, et d'un détecteur qui fournit une tension de sortie V_s directement proportionnelle à la
10 température du matériau.

Un des principaux problème rencontré avec la radiométrie micro-ondes réside dans l'adaptation de l'antenne en présence du matériau dont on souhaite effectuer la mesure de température. En effet, lorsque l'antenne n'est pas adaptée au matériau, ce qui est souvent le cas, il existe un
15 coefficient de réflexion ρ qui a une valeur non nulle. Etant donné que la nature de l'objet diffère selon les cas, l'antenne n'est jamais adaptée au matériau, et le coefficient de réflexion ρ peut varier d'un matériau à l'autre.

La première erreur dans la mesure est due à l'émissivité de l'objet qui est différente de 1 et égale à $1 - |\rho|^2$; de ce fait, une partie de la
20 puissance émise par le matériau n'est pas reçue par le radiomètre.

La seconde erreur dans la mesure est causée par l'amplificateur lui-même. A son entrée, est en effet émise une onde de bruit qui se propage jusqu'à l'antenne et s'y trouve partiellement réfléchi dès que le coefficient de réflexion est différent de zéro. Cette onde réfléchi, corrélée
25 avec le signal initial émis par l'amplificateur s'ajoute à son entrée au signal de mesure de la température de l'objet. Une fois amplifiée et détectée, elle donne lieu à une tension de sortie que l'on appellera la tension de corrélation V_{cor} .

Il est connu du document FR-2.497.947 un procédé et un dispositif de radiométrie qui utilise un circulateur pour s'affranchir en grande
30 \ partie du bruit de corrélation.

L'utilisation de celui-ci a pour inconvénient d'empêcher toute

intégration monolithique du dispositif étant donné la taille du circulateur. En effet, le circulateur est constitué par un élément généralement de type ferrite dont la taille est d'autant plus grande que l'on travaille à des fréquences faibles. Ainsi, pour des fréquences de l'ordre de quelques Gigahertz, qui
5 concerne tout particulièrement le domaine d'utilisation de la présente invention, la taille du circulateur devient prohibitive. Ceci se répercute donc naturellement sur le coût du dispositif.

Pour cela, l'objet du brevet français 2.673.470 a consisté à développer un procédé et dispositif qui permet de mesurer la température d'un
10 objet en supprimant toute utilisation du circulateur afin de pouvoir envisager l'intégration monolithique du dispositif développé.

Le procédé et dispositif de ce brevet consistent à diminuer, voir supprimer le bruit de corrélation, et à déterminer le coefficient de réflexion ρ de l'antenne afin de pouvoir déterminer la mesure de température du matériau.

15 Pour supprimer les effets de la corrélation, le procédé consiste à utiliser entre l'amplificateur et l'antenne une ligne de transmission de longueur suffisamment grande pour obtenir une valeur moyenne de la tension de corrélation (V_{cor}) égale à zéro. Ce résultat peut être obtenu si la bande passante et la longueur du câble sont suffisantes. Le déphasage introduit par
20 la longueur de ligne peut alors varier considérablement en fonction de la fréquence de l'onde amplifiée et on observe en moyenne dans la bande passante de l'amplificateur autant d'addition ($V_{cor} > 0$) que de soustraction ($V_{cor} < 0$) au signal incident. La moyenne effectuée en considérant toutes les fréquences correspondant à la bande passante de l'amplificateur tend alors
25 vers zéro.

L'utilisation d'une telle longueur de ligne d'impédance caractéristique donnée, par exemple cinquante Ohm (50Ω), a pour inconvénient d'augmenter l'encombrement du dispositif et le coût.

L'un des buts principaux de la présente invention est donc de
30 mettre en œuvre un procédé et dispositif permettant de diminuer, voir supprimer les erreurs de mesure de la température dues au bruit de

corrélation, sans utilisation d'isolateur ou de circulateur et en minimisant la longueur de la ligne d'impédance caractéristique donnée qui relie l'antenne à l'entrée de l'amplificateur.

Ainsi la présente invention a pour avantage de favoriser et d'optimiser l'intégration monolithique du dispositif en vue de la miniaturiser, et de réduire le coût du dispositif.

Pour cela, l'invention a pour avantage d'introduire dans le système de mesure les éléments permettant de régler la valeur de la tension de corrélation V_{cor} et de régler ou de modifier cycliquement ces paramètres afin d'obtenir en moyenne une tension de corrélation tendant vers zéro.

Un autre but de la présente invention est de permettre la détermination du coefficient de réflexion hyperfréquences des matériaux. Ainsi l'invention a pour avantage d'être utilisable lorsque l'antenne n'est pas particulièrement adaptée à l'objet à mesurer.

D'autres buts et avantages de la présente invention apparaîtront au cours de la description qui va suivre et qui n'a pas pour but de la limiter.

L'invention est relative à un procédé de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet tel que matériau ou corps utilisable chez les fabricants de dispositifs de radiométrie et mise en application dans le domaine médical, l'agroalimentaire et l'industrie, par lequel :

- on capte le rayonnement micro-ondes dudit objet par l'intermédiaire d'une antenne qui présente un coefficient de réflexion ρ antenne-matériau inconnu,
- on traite les ondes captées par l'antenne avec des moyens de traitement composés d'un amplificateur et d'un détecteur, ledit amplificateur étant relié à l'antenne par une ligne d'impédance caractéristique donnée et émettant un bruit à son entrée qui est ensuite réfléchi par l'antenne avec un déphasage initial ϕ_i produisant un effet de corrélation du bruit qui se retrouve en sortie du détecteur sous la forme d'une tension de corrélation du bruit V_{cor} qui perturbe la mesure de la température, caractérisé par le fait que :

- on injecte, avec un minimum de perturbation, par couplage directif par exemple ou par tout autre moyen, un bruit constant dans la ligne d'impédance caractéristique donnée que l'on commute sur l'antenne et sur au moins une référence dont on connaît la valeur du coefficient de réflexion, pour la détermination de la valeur du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau,
- on modifie la structure des éléments du radiomètre et on règle précisément les caractéristiques physiques et/ou dimensionnelles de ces éléments pour supprimer la composante de la tension de bruit de corrélation V_{cor} dans la mesure de température du matériau, quel que soit le déphasage initial ϕ_i et la valeur du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau.

Elle fait également référence au dispositif de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet permettant la mise en œuvre du procédé selon l'invention, qui se compose :

- d'une antenne qui capte les ondes électromagnétiques de l'objet et présente un coefficient de réflexion ρ antenne-matériau,
- de moyens de traitement des ondes électromagnétiques constitués par un amplificateur de gain et un détecteur de mesure de la tension de température, l'amplificateur émettant un bruit qui engendre en sortie du détecteur une tension de corrélation V_{cor} et perturbant la mesure de la température de l'objet,
- caractérisé par le fait qu'il dispose :
 - de moyens de détermination du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau qui se compose d'une source de bruit et d'un dispositif, par exemple un coupleur directif, qui permet d'injecter un bruit dans la ligne d'impédance caractéristique donnée pour la diriger vers l'antenne et au moins une référence de coefficient de réflexion connue,
 - de moyens d'annulation de la tension de corrélation V_{cor} dans la mesure de température de matériau par réglage de caractéristiques physiques et dimensionnelles desdits moyens afin d'affiner ladite mesure.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description suivante qui s'appuie sur des figures, à savoir :

- la figure 1 qui présente le dispositif de radiométrie de la présente invention disposant de moyens de mesure du coefficient de réflexion,
- les figures 2, 3, 4 et 5 qui présentent différents modes de réalisation du dispositif de radiométrie avec des moyens pour supprimer la tension de corrélation V_{cor} ,
- la figure 6 qui schématise le domaine de fonctionnement du graphe des filtres passe-bande utilisés dans une mise en œuvre du dispositif selon la présente invention.

L'invention vise un procédé et dispositif 1 de mesure de la température d'un objet 2 quelconque qui utilise le rayonnement micro-ondes. On entend par objet 2 tout matériau ou corps biologique vivant ou mort.

En effet, tout objet émet un rayonnement électromagnétique dont la puissance est proportionnelle à sa température et à la bande passante du dispositif 1 de mesure utilisé.

Le dispositif 1 mis en œuvre dans la présente invention, et tel que présenté à la figure 1, se compose principalement d'une antenne 3, d'un amplificateur 5, et d'un détecteur 6.

On capte les ondes électromagnétiques 12 émises par l'objet 2 au moyen de l'antenne 3 et on dirige ensuite ces ondes captées vers un amplificateur 5, après quoi l'on transmet les signaux vers le détecteur 6 qui donne en sortie 15 une tension image de la température. On appellera par la suite cette tension image de la température la tension de sortie V_s .

L'antenne 3 présente un coefficient de réflexion ρ et un déphasage initial ϕ_i du signal transmis vers l'amplificateur 5. Dans le cas où l'antenne est parfaitement adaptée au matériau 2, le coefficient de réflexion ρ est nul. Le plus souvent cependant le coefficient de réflexion ρ est différent de zéro étant donné que l'antenne n'est jamais vraiment bien adaptée au matériau dont on souhaite mesurer la température.

Le déphasage initial ϕ_i correspond à un décalage dans le temps entre la réception des ondes électromagnétiques 12 par l'antenne 3 et la transmission vers l'entrée de l'amplificateur 5 par l'intermédiaire d'une ligne

d'impédance caractéristique donnée cinquante Ohm (50Ω) 4 par exemple.

L'amplificateur 5 émet depuis son entrée 14 des signaux de bruit qui remontent vers l'antenne 3 pour être réfléchis par celle-ci du fait de l'existence du coefficient de réflexion ρ , et ensuite être amplifiés par ledit
5 amplificateur. Il se produit donc un bruit de corrélation à la sortie de l'amplificateur.

Pour cela, la tension V_s image de la température que l'on mesure en sortie 15 du détecteur 6 présente plusieurs composantes, une première relative à la température même de l'objet via son émissivité et une
10 seconde relative au bruit de corrélation à la sortie de l'amplificateur. On obtient donc la tension de sortie V_s égale à la somme d'une tension propre à la température du matériau V_{mat} et d'une tension de corrélation V_{cor} .

Le but est donc de supprimer la tension de corrélation V_{cor} pour obtenir la mesure de la tension de sortie V_s correspondante à la tension
15 du matériau V_{mat} . En déterminant ensuite le coefficient de réflexion ρ antenne-matériau, on obtient alors la mesure de la température de l'objet.

Considérons une composante du bruit d'entrée de l'amplificateur V_1 à une fréquence donnée comprise dans la bande passante de fonctionnement de l'amplificateur, c'est-à-dire dans le cas où nous serions
20 \ monochromatiques.

Il est connu de l'homme de l'art que la tension de corrélation prend pour valeur $V_{cor} = 2\rho V_1^2 \cos(\phi_L + \phi_i)$ où ϕ_i est le déphasage initial dû à l'antenne et ϕ_L est le déphasage dû à la longueur de la ligne d'impédance caractéristique donnée 4, cinquante Ohm (50Ω) par exemple.

Il est également connu de l'homme de l'art que la phase introduite par cette longueur (L) de ligne d'impédance caractéristique donnée
25 4, à une fréquence f , est $\phi_L = \frac{4\pi L}{c} * f$ où c est la célérité de la lumière.

Pour connaître la contribution du bruit de corrélation, il convient d'intégrer la tension de corrélation V_{cor} sur toute la bande passante
30 de l'amplificateur, et pour cela :

$$V_{cor} = \int_{f_1}^{f_2} 2\rho V_i^2 \cos(\phi_L + \phi_i) df$$

où f_1 et f_2 correspondent aux fréquences extrêmes de la bande passante de l'amplificateur.

Dans un mode préférentiel on écrira :

$$5 \quad V_{cor} = \int_{f_0-\Delta f}^{f_0+\Delta f} 2\rho V_i^2 \cos(\phi_L + \phi_i) df$$

où f_0 est la fréquence centrale de travail de l'amplificateur 5 et deux fois Δf ($2 \times \Delta f$) est la bande passante de fréquences de l'amplificateur.

Le but recherché ici est donc de supprimer cette composante de tension de corrélation V_{cor} qui apparaît dans la tension de la sortie V_s .

10 Pour cela, on modifie la structure des éléments du radiomètre et on règle précisément les caractéristiques physiques et/ou dimensionnelles de ces éléments pour supprimer la composante de la tension de bruit de corrélation V_{cor} dans la mesure de température du matériau, quel que soit le déphasage initial ϕ_i et la valeur du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau.

15 Pour y parvenir, on procède donc de la manière suivante :

- on modifie la structure du radiomètre afin d'obtenir deux tensions de corrélation V_{cor1} et V_{cor2} en opposition de phase et à savoir : $V_{cor} = < V_{cor1} + V_{cor2} >$

20 - on règle ensuite les paramètres qui interviennent dans les tensions de corrélation V_{cor1} et V_{cor2} de façon à obtenir la somme moyenne des tensions de corrélation $V_{cor} = < V_{cor1} + V_{cor2} >$ qui s'annule.

Considérons dans un premier temps le dispositif 1 présenté en figure 2 qui présente entre l'antenne 3 et l'amplificateur 5 deux lignes d'impédance caractéristique donnée 4_1 et 4_2 , par exemple cinquante Ohm (50Ω) 4_1 et 4_2 montées en commutation alternée 7_1 et 7_2 , la première ligne 4_1 ayant une longueur L et la seconde ligne 4_2 une longueur $L + \Delta L$. On appelle dans un mode préférentiel ce dispositif 1 un commutateur de ligne d'impédance caractéristique donnée.

Ce dispositif utilise donc deux commutateurs 7_1 et 7_2 qui permettent de basculer, soit sur la première ligne 4_1 de longueur L , soit sur la seconde ligne 4_2 de longueur $L + \Delta L$ au cours de la mesure de la température, et à un rythme donné, par exemple à une fréquence de quelques kilohertz.

- 5 Lorsque les commutateurs sont basculés sur la première ligne de longueur L , la tension de corrélation obtenue V_{cor1} est alors, d'après l'équation définie ci-dessous :

$$V_{cor1} = \int_{f_0 - \Delta f}^{f_0 + \Delta f} 2\rho V_1^2 \cos(\phi_L + \phi_i) df \quad \text{avec} \quad \phi_L = \frac{4\pi L}{c} * f$$

- De même, lorsque les commutateurs sont basculés sur la ligne d'impédance $L + \Delta L$, on obtient donc une tension de corrélation :

$$V_{cor2} = \int_{f_0 - \Delta f}^{f_0 + \Delta f} 2\rho V_1^2 \cos(\phi_{L+\Delta L} + \phi_i) df \quad \text{et} \quad \phi_{L+\Delta L} = \frac{4\pi(L + \Delta L)}{c} * f$$

La moyenne temporelle de ces deux tensions de corrélation V_{cor1} et V_{cor2} , donne après simplification :

$$15 \quad \langle V_{cor1} + V_{cor2} \rangle = \alpha \left[\frac{\sin(a\Delta f)}{a\Delta f} \cos\left(\frac{4\pi L}{c} f_0 + \phi_i\right) + \frac{\sin(a'\Delta f)}{a'\Delta f} \cos\left(\frac{4\pi(L + \Delta L)}{c} f_0 + \phi_i\right) \right]$$

avec $\alpha = 2\rho V_1^2 \Delta f$, $a = \frac{4\pi L}{c}$, $a' = \frac{4\pi(L + \Delta L)}{c}$

Dans un mode préférentiel mais non limitatif, si l'on choisit pour valeur $\Delta L = \frac{c}{4f_0}$ alors on obtient la somme :

$$20 \quad \langle V_{cor1} + V_{cor2} \rangle = \alpha * \cos\left(\frac{4\pi L}{c} f_0 + \phi_i\right) \left[\frac{\sin(a\Delta f)}{a\Delta f} - \frac{\sin(a'\Delta f)}{a'\Delta f} \right]$$

On remarquera dans ces conditions, en ajustant les paramètres, que lorsqu'on effectue la moyenne des tensions de corrélation V_{cor1} et V_{cor2} celle-ci tend à s'annuler puisque la moyenne des fonctions $\frac{\sin(a\Delta f)}{a\Delta f}$ et $\frac{-\sin(a'\Delta f)}{a'\Delta f}$ tend à s'annuler.

- 25 On obtient alors une tension de corrélation V_{cor} qui est

sensiblement nulle et négligeable dans la mesure de la tension V_s image de la température du matériau lorsque l'on utilise un commutateur de ligne positionné entre l'antenne et l'amplificateur, la première ligne ayant une longueur d'impédance L et la seconde ligne ayant une longueur d'impédance L

5 $+ \Delta L$ avec $\Delta L = \frac{c}{4f_0}$

Par exemple, si on choisit une fréquence centre f_0 qui est égale à 3,5 Gigahertz (Ghz) et une bande passante de 1 Gigahertz (Ghz), dans ce cas on obtient ΔL qui est égal à 2,15 centimètres (cm). Et pour un déphasage initial $\phi_1 = \pi/2$ et une longueur L égal à quarante trois centimètres, la réduction

10 maximale du bruit de corrélation est de quatre vingt quinze pour cent (95%).

Dans un mode particulier de réalisation, avec le dispositif 1 tel que présenté en figure 2, si on choisit une première ligne 4₁ de longueur L tel que $\sin(a\Delta f) = 0$, ce qui correspond à une longueur $L = k * \frac{c}{4\Delta f}$, où k est une valeur entière naturelle, alors on obtient une tension de corrélation nulle

15 ($V_{cor} = 0$) sans qu'il soit nécessaire de commuter sur la seconde ligne 4₂ et quelle que soit la phase initiale ϕ_1 et le coefficient de réflexion ρ .

Dans le cas où la ligne d'impédance caractéristique donnée 4 est de longueur physique $L = k * \frac{c}{4\Delta f}$ où k est une valeur entière, par exemple $k = 1$, alors on utilise une seule ligne d'impédance caractéristique donnée 4 de

20 longueur déterminée entre l'antenne et l'amplificateur tel que le montre le dispositif en figure 1 avec le commutateur 26 positionné sur l'antenne 3. On dispose ainsi d'un moyen simple de réduction du bruit de corrélation quelle que soit la phase initiale ϕ_1 introduite et le coefficient de réflexion de l'antenne, ce qui autorise une intégration monolithique.

25 La figure 3 présente le dispositif de radiométrie muni de moyens pour modifier la structure du radiomètre 7₁, 7₂, 8₁ et 8₂ et la tension de corrélation V_{cor} . Ces moyens sont constitués dans un mode préférentiel mais non limitatif par deux filtres passetout 8₁ et 8₂ positionnés et montés en commutation 7₁ et 7₂ entre l'antenne 3 et l'amplificateur 5.

30 Le filtre passetout, connu de l'homme de l'art est caractérisé

par le fait que le module de son coefficient de transmission est égal à 1, c'est-à-dire que l'amplitude du signal d'entrée 16 est identique à celle du signal de sortie 17, et que sa phase ϕ est égale à :

$$\phi = \pi - 2 \arctg \left(\frac{f}{f_T} - \frac{f_T}{f} \right)$$

5 où f_T est la fréquence de transition du filtre passe-tout.

Ainsi, si l'on commute entre deux filtres 8_1 et 8_2 de fréquence de transition F_{T1} et F_{T2} incluses dans la bande $2\Delta f$ de l'amplificateur, il est possible de créer une différence de phase $\Delta\phi$ entre les signaux en sortie des deux filtres passe-tout quasiment constante et égale à $\frac{\pi}{2}$ sur la bande de

10 fréquence d'intervalle $[f_1, f_2]$ de l'amplificateur.

En reprenant les équations de la tension de corrélation obtenue pour la tension V_{cor1} et la tension de corrélation V_{cor2} avec une ligne d'impédance caractéristique donnée de longueur L et en ajoutant le déphasage introduit par le filtre passe-tout, les résultats sont les suivants :

$$15 \quad V_{cor1} = \int_{f_0-\Delta f}^{f_0+\Delta f} 2\rho V_1^2 \cos(\phi_L + 2\phi_1 + \phi_i) df$$

$$V_{cor2} = \int_{f_0-\Delta f}^{f_0+\Delta f} 2\rho V_1^2 \cos(\phi_L + 2\phi_2 + \phi_i) df$$

où ϕ_1 est la phase engendrée par le premier filtre passe-tout 8_1 sur la première ligne et ϕ_2 la phase engendrée par le second filtre 8_2 sur la seconde ligne.

On remarque donc que pour une différence de phase $\Delta\phi$
 20 sensiblement constante sur l'intervalle $[f_1, f_2]$ et égale à $\pi/2$ alors on a donc V_{cor2} qui s'oppose à V_{cor1} , ce qui permet donc d'obtenir une tension de corrélation V_{cor} qui est égale à la somme moyenne des tensions de corrélation $\langle V_{cor1} + V_{cor2} \rangle$ qui est sensiblement nulle.

Il convient donc de choisir convenablement les fréquences f_{T1}
 25 et f_{T2} qui permettent d'obtenir le $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = \pi/2$. Pour cela, il convient de calculer et de résoudre l'équation $\frac{\partial \phi_2 - \partial \phi_1}{\partial f} = 0$, ce qui donne après

simplification et calcul $\Delta\phi = \frac{f_{T1} - f_{T2}}{\sqrt{f_{T1} f_{T2}}}$

On choisit alors les valeurs de f_{T1} et de f_{T2} qui donnent $\Delta\phi = \frac{\pi}{2}$.

La figure 4 présente le dispositif 1 de radiométrie disposant d'un troisième mode de réalisation de moyens pour modifier la structure 7₁, 7₂, 9₁, 9₂ et la tension de corrélation. Ces moyens sont positionnés entre la sortie 18 de l'amplificateur 5 et l'entrée 19 du détecteur 6, et ils sont réalisés par des commutateurs 7₁ et 7₂ et des filtres passe-bande 9₁ et 9₂. Le dispositif 1 permet donc de commuter et d'envoyer des signaux soit au travers d'un premier filtre passe-bande 9₁, soit au travers d'un second filtre passe-bande 9₂.

Le premier filtre passe-bande 9₁ travaille avec une fréquence centrale f_0 et une bande passante de Δf , et le second filtre passe-bande 9₂ travaille avec une autre fréquence centrale f'_0 et la même bande passante Δf que le premier filtre. Pour le bon fonctionnement du dispositif, il est nécessaire que les deux fréquences centrales de travail f_0 et f'_0 des filtres se trouvent comprises dans la bande de fréquence $[f_1, f_2]$ de l'amplificateur 5 comme le schématise la figure 6 qui aide à la compréhension.

Lorsque les commutateurs 7₁ et 7₂ sont basculés sur la première ligne, les ondes passent donc au travers du premier filtre passe-bande 9₁ de fréquence f_0 et, inversement, lorsqu'ils sont commutés sur la seconde ligne, les ondes passent au travers du second filtre passe-bande 9₂ de fréquence f'_0 . La ligne d'impédance 4 de longueur L étant identique que l'on soit commuté sur le premier filtre passe-bande ou sur le second filtre passe-bande.

Ainsi, on obtient deux tensions de corrélation Vcor1 et Vcor 2 avec :

$$V_{cor1} = \int_{f_0 - \Delta f}^{f_0 + \Delta f} 2\rho V_i^2 \cos(\phi_L + \phi_i) df$$

et

$$V_{cor2} = \int_{f'_0 - \Delta f}^{f'_0 + \Delta f} 2\rho V_1^2 \cos(\phi_L + \phi_i) df$$

Ce qui donne après simplification :

$$V_{cor1} = \alpha \frac{\sin\left(\frac{4\pi L}{c}\right)\Delta f}{\left(\frac{4\pi L}{c}\right)\Delta f} * \cos\left(\frac{4\pi L}{c} f_0 + \phi_i\right)$$

$$5 \quad V_{cor2} = \alpha \frac{\sin\left(\frac{4\pi L}{c}\right)\Delta f}{\left(\frac{4\pi L}{c}\right)\Delta f} * \cos\left(\frac{4\pi L}{c} f'_0 + \phi_i\right)$$

Ainsi, lorsque l'on fait la somme des deux tensions de corrélation, on remarque qu'il convient de choisir f'_0 de façon à ce que les cosinus s'annulent, ce qui donne par exemple comme résultat : $f'_0 = f_0 + \frac{c}{4L}$

En prenant donc un premier filtre passe-bande 9₁, qui travaille à une fréquence centrale f_0 et un second filtre passe-bande 9₂ qui travaille à une fréquence centrale $f'_0 = f_0 + \frac{c}{4L}$, on obtient alors la tension de corrélation V_{cor} qui est égale à la somme moyenne de $\langle V_{cor1} + V_{cor2} \rangle$ et qui est nulle ce qui élimine les effets de corrélation du bruit dans la mesure de la tension image de la température, ceci quel que soit le déphasage initial ϕ_i et le coefficient de réflexion ρ .

Ce dispositif a donc pour avantage d'améliorer le facteur de bruit du radiomètre, mais implique que le déphasage initial ϕ_i n'évolue pas trop entre les fréquences f_0 et f'_0 .

La figure 5 présente le dispositif 1 de radiométrie disposant d'un quatrième mode de réalisation de moyens 10, 11 pour modifier la structure du radiomètre et la tension de corrélation V_{cor} en deux tensions de corrélation V_{cor1} et V_{cor2} . Les moyens sont positionnés entre la sortie 18 de l'amplificateur 5 et l'entrée 19 du détecteur 6. Ils se composent d'un oscillateur à fréquence variable 10 et d'un filtre intermédiaire 11 qui permettent de réaliser

un filtrage hétérodyne de la tension de corrélation V_{cor} .

Le rôle de l'oscillateur 10 est de faire varier la fréquence centrale entre deux valeurs f_0 et f'_0 qui doivent être comprises dans la bande de fréquence de travail $[f_1, f_2]$ de l'amplificateur 5.

5 Le filtre intermédiaire 11 a pour fonction de définir la bande passante $2 * \Delta f$.

Cette méthode consiste donc à balayer la fréquence de l'oscillateur 10 entre deux fréquences f_0 et f'_0 qui permettent d'obtenir deux tensions de corrélation V_{cor1} et V_{cor2} dont la somme moyenne s'annule.

10 Ainsi, on reprend le principe de la méthode développée ci-dessus avec le dispositif de la figure 4, utilisant deux filtres passe-bande positionnés entre la sortie de l'amplificateur et le détecteur.

On fait donc varier la fréquence de l'oscillateur d'une première fréquence centrale f_0 jusqu'à une seconde fréquence centrale f'_0 qui est égale
15 à $f'_0 = f_0 + \frac{c}{4L}$ ce qui donne donc une tension de corrélation qui est égale à la somme moyenne des tensions de corrélation $\langle V_{cor1} + V_{cor2} \rangle$ et qui est nulle.

L'avantage de cette méthode est la versatilité puisqu'elle permet d'avoir un degré de liberté supplémentaire par rapport aux autres
20 méthodes développées ci-dessus, en particulier quant au choix de la fréquence centrale f_0 , le tout étant d'avoir les fréquences centrales f_0 et f'_0 comprises dans l'intervalle de fréquence $[f_1, f_2]$ de travail de l'amplificateur. Ceci est particulièrement intéressant pour pallier les problèmes relatifs à la compatibilité électromagnétique.

25 Un second aspect de la présente invention est de permettre la mesure du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau. Cette mesure du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau a pour intérêt, par exemple, de déterminer les variations des propriétés diélectriques ou physique du matériau en vue d'effectuer une cartographie.

30 Pour mesurer le coefficient de réflexion ρ antenne-matériau, on

procède dans un mode préférentiel mais non limitatif de la manière suivante :

- on injecte, avec un minimum de perturbation, par couplage directif 20 un bruit constant dans la ligne d'impédance caractéristique donnée 4,

5 - on compare la mesure de variation des températures de bruit obtenue avec l'antenne par rapport à celle mesurée et obtenue au moyen de références 21 et 22 dont on connaît la valeur du coefficient de réflexion.

Le principe consiste donc à injecter dans la ligne d'impédance caractéristique donnée 4 reliant l'amplificateur 5 à l'antenne 3, et ce avec un
10 minimum de perturbation, un bruit 23 constant. La transmission du bruit dans la ligne d'impédance caractéristique donnée est réalisée dans un mode préférentiel mais non limitatif, en couplant 20 la source de bruit 23 à ladite ligne 4.

Ensuite, on compare la variation de température de bruit que
15 l'on mesure en sortie du détecteur, ceci pour l'antenne 3 et également pour deux références 21 et 22, la première 21 présentant un coefficient de réflexion égal à zéro et la seconde 22 un coefficient de réflexion égal à un. A partir de quoi il est possible de déterminer la valeur du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau.

20 Pour cela, on commute la ligne d'impédance caractéristique donnée 4 sur l'antenne 3 et les deux références 21 et 22 de manière à diriger le bruit vers chacun des éléments et obtenir une variation de température de bruit pour chacun d'eux.

Dans un mode préférentiel mais non limitatif, la première
25 référence 21 est du type charge résistive par exemple de cinquante Ohm (50Ω) qui présente un coefficient de réflexion égal à zéro et la seconde référence 22 est du type court-circuit ou circuit ouvert qui présente un coefficient de réflexion égal à un.

On obtient donc une première mesure de variation de
30 température de bruit V_{s1} avec la première référence 21 du type charge résistive de coefficient de réflexion nul, une seconde mesure de variation de tension de

température de bruit V_{S2} avec l'antenne 3 de coefficient de réflexion antenne-matériau à déterminer, et une troisième mesure de variation de température de bruit V_{S3} avec la seconde référence 22 de type court-circuit ou circuit ouvert de coefficient de réflexion égal à un.

- 5 A partir des différentes mesures et connaissant la valeur des coefficients de réflexion pour les références 21 et 22, on en déduit la relation suivante $\rho = \frac{V_{S2} - V_{S1}}{V_{S3} - V_{S1}}$, d'où la mesure du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau.

- 10 La figure 1 présente les moyens de détermination du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau permettant d'injecter un bruit constant dans la ligne d'impédance caractéristique donnée 4 par couplage. Ces moyens sont constitués dans un mode préférentiel par une source de bruit 23 et un coupleur directif 20.

- 15 Dans un mode préférentiel, cette source de bruit 23 est réalisée par la température émise à la sortie d'un amplificateur hyperfréquence 23 travaillant dans la bande de fonctionnement du radiomètre et dont la sortie 25 de l'amplificateur est refermée par une charge résistive 24, par exemple de cinquante Ohm (50Ω), ou tout autre type de charge.

- 20 Cette source de bruit est activée par la mise ou non sous tension de l'amplificateur hyperfréquence 23.

- Le bruit est injecté sur la ligne d'impédance caractéristique donnée 4 au moyen d'un coupleur directif 20 qui a pour avantage d'introduire le minimum de perturbation sur ladite ligne d'impédance caractéristique donnée. Par exemple en utilisant un coupleur directif présentant un gain de 25 moins N décibel ($-N$ dB), où N est un entier, par exemple N égal à vingt, et pour une température de bruit T_{SB} provenant de la source, alors la température injectée dans la ligne de transmission principale pour la mesure du coefficient de réflexion ρ a pour valeur $10^{-N} * T_{SB}$.

- 30 Le dispositif présente dans un mode préférentiel des moyens de commutation 26 qui permettent de basculer soit sur la première référence

21 du type charge résistive, soit sur l'antenne 3, ou soit sur la seconde
référence 22 du type circuit ouvert ou court-circuit, afin de déterminer, selon la
position du commutateur 26, la variation de température de bruit V_{s1} , V_{s2} ou
 V_{s3} , disponible en sortie du détecteur et provoquée par la mise en service ou
5 non de l'amplificateur comme source de bruit.

Dans un mode préférentiel mais non limitatif, le dispositif de
radiométrie dispose en sortie du détecteur de moyens de traitement 13 des
mesures pour la détermination de la température du matériau et du coefficient
de réflexion antenne-matériau. Ces moyens de traitement 13 sont par exemple
10 mis en œuvre par des microprocesseurs et/ou des microcontrôleurs qui gèrent
les mesures, en sortie du détecteur des tensions de corrélation V_{cor1} et V_{cor2}
et des variations de température de bruit V_{s1} , V_{s2} et V_{s3} et calculent les valeurs
de température du matériau et le coefficient de réflexion antenne-matériau à
partir des équations de la physique connues de l'homme de l'art.

15 Ces moyens de traitement 13 disposeront également, dans un
mode préférentiel, de moyens d'ajustement par exemple du type carte
numérique ou analogique, permettant de pondérer les valeurs des tensions de
corrélation V_{cor1} et V_{cor2} pour corriger les dissymétries éventuelles du
dispositif radiométrique et annuler parfaitement le bruit de corrélation V_{cor}
20 dans la mesure de température du matériau.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet (2) tel que matériau ou corps utilisable chez les fabricants de dispositifs de radiométrie et mis en application dans le domaine médical,
- 5 l'agro-alimentaire et l'industrie, par lequel :
- on capte le rayonnement micro-ondes dudit objet (2) par l'intermédiaire d'une antenne (3) qui présente un coefficient de réflexion ρ antenne-matériau inconnu,
 - on traite les ondes captées (12) par l'antenne avec des
- 10 moyens de traitement composés d'un amplificateur (5) et d'un détecteur (6), ledit amplificateur étant relié à l'antenne par une ligne d'impédance caractéristique donnée (4) et émettant un bruit à son entrée qui est ensuite réfléchi par l'antenne avec un déphasage initial ϕ_i , produisant un effet de corrélation du bruit qui se retrouve en sortie du détecteur sous la forme d'une
- 15 tension de corrélation du bruit V_{cor} qui perturbe la mesure de la température, caractérisé par le fait que :
- on injecte par couplage directif un bruit constant dans la ligne d'impédance caractéristique donnée (4) que l'on commute sur l'antenne (3) et sur au moins une référence (22) dont on connaît la valeur du coefficient de
- 20 réflexion, pour la détermination de la valeur du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau,
- on modifie la structure des éléments du radiomètre et on règle précisément les caractéristiques physiques et/ou dimensionnelles de ces éléments pour supprimer la composante de la tension de bruit de corrélation
- 25 V_{cor} dans la mesure de température du matériau, quel que soit le déphasage initial ϕ_i et la valeur du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau.
2. Procédé de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet, selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'on utilise une ligne d'impédance caractéristique donnée (4) de longueur L déterminée pour
- 30 laquelle la valeur de la tension de corrélation V_{cor} est nulle quel que soit le déphasage initial ϕ_i et le coefficient de réflexion ρ antenne-matériau.

3. Procédé de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet, selon la revendication 1, caractérisé par le fait que :

- on décompose les ondes de bruit de façon à obtenir en sortie une tension de corrélation V_{cor} égale à la somme moyenne de deux tensions de corrélation V_{cor1} et V_{cor2} dépendant de paramètres de réglage,
- on règle ces paramètres de façon à obtenir la somme moyenne des deux tensions de corrélation V_{cor1} et V_{cor2} qui tend vers zéro pour supprimer les effets du bruit de corrélation dans la mesure de la température du matériau, et ainsi affiner ladite mesure, quel que soit le déphasage initial ϕ_i et le coefficient de réflexion ρ au niveau de l'antenne.

4. Procédé de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet, selon les revendications 1 et 3, caractérisé par le fait que :

- on décompose la tension de corrélation V_{cor} en utilisant deux lignes d'impédance caractéristique donnée (4_1 et 4_2) montées en commutation alternée et positionnées entre l'antenne (3) et l'amplificateur (5), la première ligne (4_1) ayant une longueur L et la seconde ligne (4_2) ayant une longueur $L + \Delta L$,

- on définit une valeur précise du ΔL qui permet d'obtenir une tension de corrélation V_{cor} nulle.

5. Procédé de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet, selon les revendications 1 et 3, caractérisé par le fait que :

- on décompose la tension de corrélation en utilisant deux lignes de longueur électrique constituées par des filtres passe-tout (8_1 et 8_2) montées en commutation alternée et positionnées entre l'antenne (3) et l'amplificateur (5), le premier filtre passe-tout (8_1) travaillant à une fréquence de transmission f_{T1} et le second (8_2) une fréquence de transmission f_{T2} ,

- on définit deux valeurs précises pour f_{T1} et f_{T2} qui annulent la tension de corrélation.

6. Procédé de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet, selon les revendications 1 et 3, caractérisé par le fait que :

- on décompose la tension de corrélation en utilisant deux

filtres passe-bande (9_1 et 9_2) montées en commutation alternée entre la sortie de l'amplificateur et l'entrée du détecteur, le premier filtre (9_1) travaillant à une fréquence centrale f_0 et le second (9_2) à une fréquence f'_0 ,

- on définit f'_0 en fonction de f_0 qui annule la tension de corrélation V_{cor} .

7. Procédé de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet, selon les revendications 1 et 3, caractérisé par le fait que :

- on décompose la tension de corrélation en réalisant un filtrage séquentiel au moyen d'un oscillateur de fréquence (10) et d'un filtre intermédiaire (11) positionnés entre la sortie de l'amplificateur et l'entrée du détecteur,
- on effectue un balayage du filtrage entre deux fréquences centrales f_0 et f'_0 pour lesquelles on obtient une tension de corrélation V_{cor} nulle.

8. Dispositif de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet permettant la mise en œuvre du procédé de la revendication 1, qui se compose :

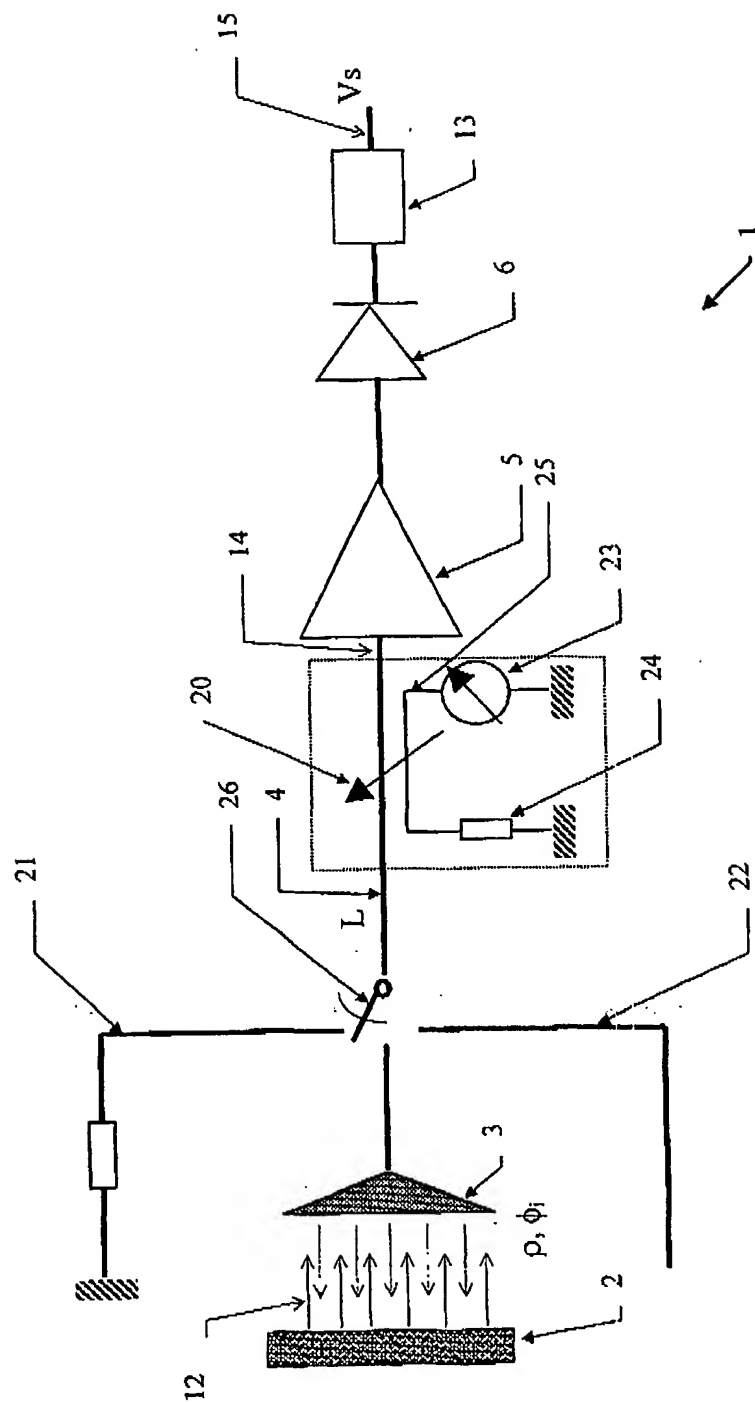
- d'une antenne qui capte les ondes électromagnétiques de l'objet et présente un coefficient de réflexion ρ antenne-matériau,
- de moyens de traitement des ondes électromagnétiques constitués par un amplificateur de gain et un détecteur de mesure de la tension de température, l'amplificateur émettant un bruit qui engendre en sortie du détecteur une tension de corrélation V_{cor} et perturbant la mesure de la température de l'objet, caractérisé par le fait qu'il dispose :
- de moyens de détermination du coefficient de réflexion ρ antenne-matériau qui se compose d'une source de bruit (23) et d'un dispositif de couplage (20), qui injecte le bruit dans la ligne d'impédance caractéristique donnée (4), avec un minimum de perturbation, pour la diriger vers l'antenne (3) et au moins une référence (21) de coefficient de réflexion connue,
- de moyens d'annulation de la tension de corrélation V_{cor} dans la mesure de température de matériau par réglage de caractéristiques

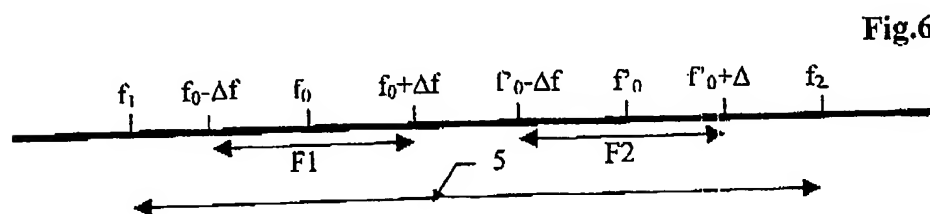
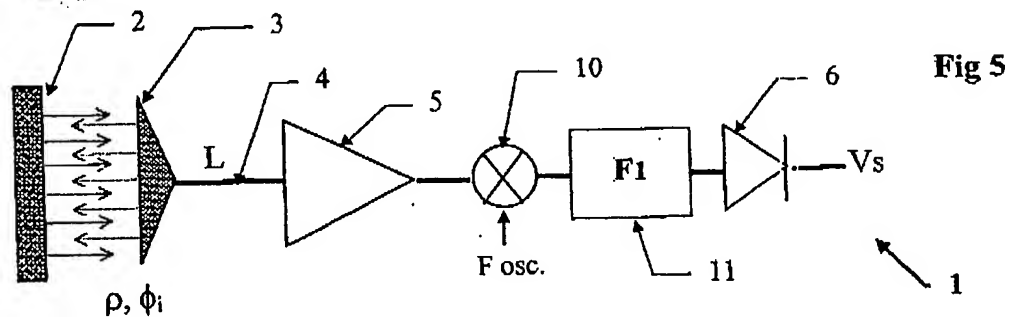
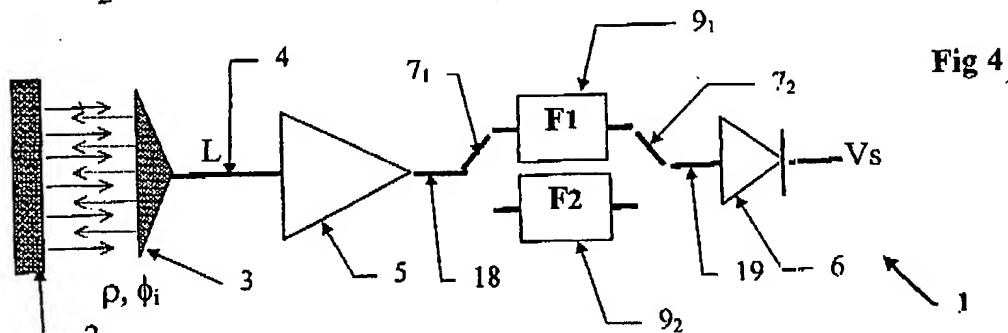
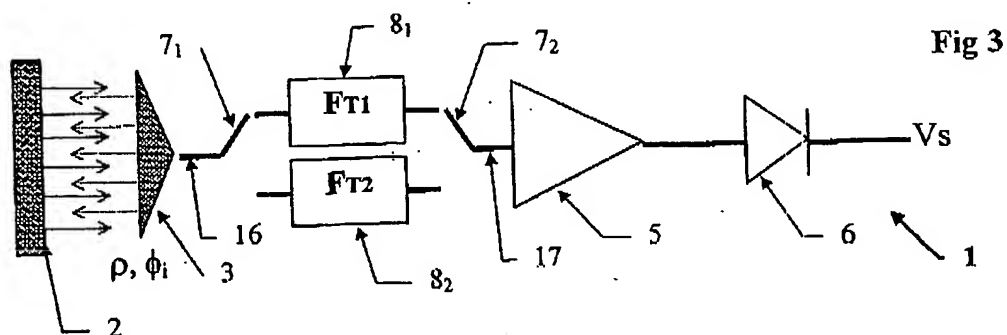
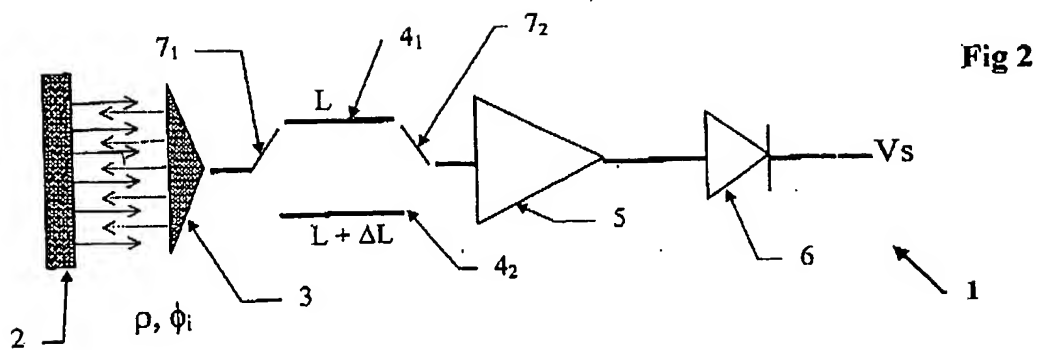
physiques et dimensionnelles desdits moyens afin d'affiner ladite mesure.

9. Dispositif de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet, selon la revendication 8, caractérisé par le fait que les moyens d'annulation de la tension de corrélation V_{cor} sont constitués par la longueur L de la ligne d'impédance caractéristique donnée (4) qui est proportionnelle à la célérité de la lumière et à la bande passante de l'amplificateur (5), longueur pour laquelle la tension de corrélation s'annule.

10. Dispositif de radiométrie pour la mesure de la température d'un objet, selon la revendication 8, caractérisé par le fait que les moyens d'annulation de la tension de corrélation V_{cor} sont constitués par des moyens de décomposition de la tension en deux tensions de corrélation V_{cor1} et V_{cor2} dont les caractéristiques physiques et dimensionnelles permettent d'annuler la somme moyenne des deux tensions de corrélation V_{cor1} et V_{cor2} .

Fig 1





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 01/03967

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01K11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

PAJ, EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 14, 31 December 1998 (1998-12-31) -& JP 10 260210 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 29 September 1998 (1998-09-29) abstract	1, 3, 6-8, 10
A	POLIVKA J: "MICROWAVE RADIOMETRY AND APPLICATIONS" INTERNATIONAL JOURNAL OF INFRARED AND MILLIMETER WAVES, PLENUM PUBLISHING, NEW YORK, US, vol. 16, no. 9, 1 September 1995 (1995-09-01), pages 1593-1672, XP000534670 ISSN: 0195-9271 page 1619, paragraph 6 -page 1629, paragraph 4; figures 17,22-29	1, 3, 6
	--- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the International filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

* & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 February 2002

Date of mailing of the international search report

25/02/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ramboer, P

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 01/03967

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 158 690 A (GILLESPIE ANTHONY RICHARD ;HASLAM CHRISTOPHER GLYN TREVOR (DE); HA) 23 October 1985 (1985-10-23) page 7, line 14 -page 9, line 12; figure 7A page 22, line 11 -page 30, line 24 ---	1-10
A	US 4 235 107 A (KOHLER JURGEN ET AL) 25 November 1980 (1980-11-25) the whole document ---	1-10
A	SU 1 168 876 A (SP K B I RADIOTEKHNKI ELEKTRO) 23 July 1985 (1985-07-23) the whole document ---	1,3,7,8, 10
A	SU 1 146 610 A (ZAOCH MASHINOSTR INST) 23 March 1985 (1985-03-23) the whole document ---	1,3,6,8, 10
A	SU 708 812 A (N PROIZV OB EDINENIE GEOFIZIKA) 15 June 1993 (1993-06-15) the whole document ---	1,4,8
A	SU 1 780 045 A (TSNII ELEKTROPRIBOR) 7 December 1992 (1992-12-07) the whole document ---	1
A	DD 203 145 A (AKAD WISSENSCHAFTEN DDR) 12 October 1983 (1983-10-12) abstract; figures -----	1,8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 01/03967

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 10260210	A	29-09-1998	NONE	
EP 0158690	A	23-10-1985	EP 0158690 A1	23-10-1985
US 4235107	A	25-11-1980	DE 2803480 A1	02-08-1979
			FR 2415799 A1	24-08-1979
			GB 2013350 A ,B	08-08-1979
			JP 1326214 C	16-07-1986
			JP 54113381 A	04-09-1979
			JP 60046648 B	17-10-1985
SU 1168876	A	23-07-1985	SU 1168876 A1	23-07-1985
SU 1146610	A	23-03-1985	SU 1146610 A1	23-03-1985
SU 708812	A	15-06-1993	SU 708812 A1	15-06-1993
SU 1780045	A	07-12-1992	SU 1780045 A1	07-12-1992
DD 203145	A	12-10-1983	DD 203145 A1	12-10-1983

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

de Internationale No

PCT/FR 01/03967

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 G01K11/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

PAJ, EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 14, 31 décembre 1998 (1998-12-31) -& JP 10 260210 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 29 septembre 1998 (1998-09-29) abrégé	1, 3, 6-8, 10
A	POLIVKA J: "MICROWAVE RADIOMETRY AND APPLICATIONS" INTERNATIONAL JOURNAL OF INFRARED AND MILLIMETER WAVES, PLENUM PUBLISHING, NEW YORK, US, vol. 16, no. 9, 1 septembre 1995 (1995-09-01), pages 1593-1672, XP000534670 ISSN: 0195-9271 page 1619, alinéa 6 -page 1629, alinéa 4; figures 17, 22-29	1, 3, 6



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *&* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

15 février 2002

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

25/02/2002

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Ramboer, P

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

nde Internationale No
PCT/FR 01/03967

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 158 690 A (GILLESPIE ANTHONY RICHARD ; HASLAM CHRISTOPHER GLYN TREVOR (DE); HA) 23 octobre 1985 (1985-10-23) page 7, ligne 14 -page 9, ligne 12; figure 7A page 22, ligne 11 -page 30, ligne 24 ----	1-10
A	US 4 235 107 A (KOHLER JURGEN ET AL) 25 novembre 1980 (1980-11-25) le document en entier ----	1-10
A	SU 1 168 876 A (SP K B I RADIOTEKHNIKI ELEKTRO) 23 juillet 1985 (1985-07-23) le document en entier ----	1,3,7,8, 10
A	SU 1 146 610 A (ZAOCH MASHINOSTR INST) 23 mars 1985 (1985-03-23) le document en entier ----	1,3,6,8, 10
A	SU 708 812 A (N PROIZV OB EDINENIE GEOFIZIKA) 15 juin 1993 (1993-06-15) le document en entier ----	1,4,8
A	SU 1 780 045 A (TSNII ELEKTROPRIBOR) 7 décembre 1992 (1992-12-07) le document en entier ----	1
A	DD 203 145 A (AKAD WISSENSCHAFTEN DDR) 12 octobre 1983 (1983-10-12) abrégé; figures -----	1,8

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

nde Internationale No

PCT/FR 01/03967

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 10260210	A	29-09-1998	AUCUN
EP 0158690	A	23-10-1985	EP 0158690 A1 23-10-1985
US 4235107	A	25-11-1980	DE 2803480 A1 02-08-1979 FR 2415799 A1 24-08-1979 GB 2013350 A ,B 08-08-1979 JP 1326214 C 16-07-1986 JP 54113381 A 04-09-1979 JP 60046648 B 17-10-1985
SU 1168876	A	23-07-1985	SU 1168876 A1 23-07-1985
SU 1146610	A	23-03-1985	SU 1146610 A1 23-03-1985
SU 708812	A	15-06-1993	SU 708812 A1 15-06-1993
SU 1780045	A	07-12-1992	SU 1780045 A1 07-12-1992
DD 203145	A	12-10-1983	DD 203145 A1 12-10-1983